

Original document

SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING ELEMENT

Publication number: JP11307810

Publication date: 1999-11-05

Inventor: SAEKI AKIRA

Applicant: TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO

Classification:


- international: *H01L29/201; H01L33/00; H01S5/183; H01S5/042; H01S5/30; H01S5/343; H01L29/02; H01L33/00; H01S5/00; (IPC1-7): H01L33/00*

- european:

Application number: JP19980113666 19980423

Priority number(s): JP19980113666 19980423

Also published :

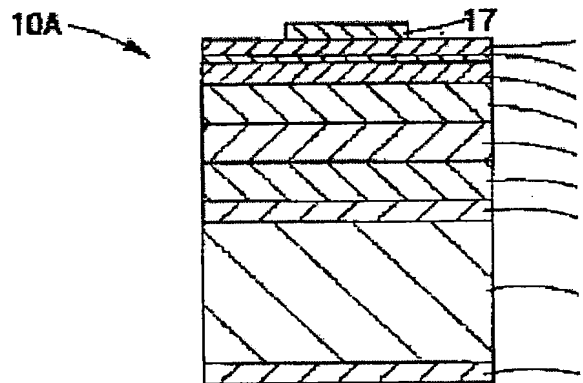
 US6350997

[View INPADOC patent family](#)

[Report a data error](#)

Abstract of JP11307810

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a semiconductor light emitting element, the operating voltage of which can be lowered and the output of which can be increased when InGaAlP is used for forming the element. **SOLUTION:** When a contact layer 22 doped with a prescribed amount of carbon is provided in a semiconductor light emitting element 10A, the contact resistance of the element 10A with an ITO electrode 16 can be lowered. Carbon is not diffused and, therefore, does not deteriorate the characteristic of the light emitting element like zinc does. In addition, when a band gap layer 21 having an intermediate band gap between those of the contact layer 22 and a clad layer 13 is interposed between the layers 22 and 13, the flow-in of positive holes is accelerated and the resistance of the element is lowered, because the band discontinuity of a valence band is relieved.



Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

Description of corresponding document: US6350997

BACKGROUND OF THE INVENTION

[0002] This invention relates to a semiconductor light emitting element. More specifically, the invention relates to a semiconductor light emitting element made of InGaAlP materials on an n-type GaAs substrate and including a transparent electrode on its emission surface, which is reduced in operative voltage and increased in optical output by inserting one or both of a carbon-doped p-type GaAlAs layer and p-type GaAs layer between the transparent electrode and a cladding layer.

[0003] Semiconductor light emitting elements are widely expanding their field of application to indoor/outdoor displays, railway/traffic signals, compartment/cabin lamps, and so on, because of a number of advantages they have, such as compactness, low power consumption, reliability, for example. Especially those using as the light emitting layer an InGaAlP material, which is a quaternary compound semiconductor, can be adjusted in composition to emit light in wide wavelength bands from red to green.

[0004] In the present application, "InGaAlP" pertains to semiconductors of any composition made by changing mole fractions x and y in the composition formula $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_y\text{P}_{1-y}$ within the range satisfying $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, and $(x+y) \leq 1$. That is, mixed crystals such as InGaP, InAlP, InGaAlP, GaP and GaAlP are also grouped into "InGaAlP". Additionally, there are also involved mixed crystals containing arsenic (As) in addition to phosphorus (P) as group V elements.

[0005] For years, n-type GaAs substrates using silicon (Si) as the impurity have been typically used as substrates of InGaAlP light emitting diodes (LED).

[0006] FIGS. 10 through 12 are cross-sectional views schematically showing InGaAlP semiconductor light emitting elements as comparative examples, which were experimentally made by the Inventor in the course of researches toward the present invention.

[0007] The light emitting element 100A shown in FIG. 10 includes an n-type GaAs buffer layer 102, n-type InGaAlP cladding layer 103, InGaAlP active layer 104, p-type InGaAlP cladding layer 105, and (indium tin oxide) transparent electrode 106 sequentially stacked on an n-type GaAs substrate 101, and further formed are a p-side electrode 107 and an n-side electrode 108. The semiconductor layers 101 through 105 are epitaxially grown by metal organic chemical vapor deposition (MOCVD), for example.

[0008] In the light emitting element 100B shown in FIG. 11, a p-type GaAlAs current diffusion layer is formed on the p-type cladding layer 105 so that a current injected from the p-side electrode 107 disperses and spreads in a direction parallel to the element surface. The same components as those of the light emitting element shown in FIG. 10 are labeled with common reference numerals, and their explanation is omitted here.

[0009] In the light emitting element 100C shown in FIG. 12, a p-type GaAs low-resistance contact layer 110 and the transparent electrode 106 are stacked on the p-type cladding layer 105.

[0010] InGaAlP LEDs shown in FIGS. 10 and 12, however, involve serious problems in their operating characteristics. Problems are particularly serious in the structure shown in FIG. 10, and it has not been brought into practice to date. One of reasons of the problems lies in the use of the transparent electrode 106. The purpose of the transparent electrode 106 is to ensure uniform extension of a current along the emission surface and make a uniform light emitting intensity profile. However, the transparent electrode 106 is an n-type semiconductor like ITO (indium tin oxide), for example, and the cladding layer 105 and contact therewith is a p-type semiconductor. Therefore, when a forward voltage is applied to LED 100, a reverse-biased state is formed between the transparent electrode 106 and the p-type cladding layer 105. As a result, almost no current flows as shown in FIG. 2 as "Comparative Example (1)".

[0011] The light emitting element 100C shown in FIG. 12 includes, between the p-type cladding layer 105 and the transparent electrode 106, the p-type GaAs low-resistance contact layer 110 doped with a large amount of zinc (Zn) ($1 \times 10^{20} > \text{cm}^{-3}$). As a result, the contact resistance decreases, and relatively good current-voltage characteristics are obtained as shown in FIG. 2 as "Comparative Example (3)".

[0012] However, here arises another problem caused by doping of a large amount of Zn. Zinc tends to diffuse under heat or current. The large amount of zinc doped into the p-type GaAs layer 110 diffuses only during crystal growth but also during operation of the element (when a current is supplied), and deteriorates the quality of the active layer 104 for emission, and adversely affects initial characteristics and lifetime characteristics of the element. As a result, as shown in FIG. 7 as "Comparative Example (3)", the element is low in optical output, and rapidly deteriorates toward reducing its lifetime. If the doping amount

of zinc is reduced ($1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ or less), then the p-type GaAs layer 110 loses its function as a low-resistant contact layer, and the element results in involving the same problem of bad current-voltage characteristics.

[0013] In the light emitting element 100B shown in FIG. 11, the p-type GaAlAs current diffusion layer is provided instead of a transparent electrode on the emission surface. In the p-type GaAlAs layer 10, mole fraction of Al is increased to transmit light from the active layer 10, and zinc is doped to decrease resistance. Since a dope amount of zinc of approximately $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ is sufficient therefore, the problem malfunction caused by diffusion of zinc, involved in the light emitting element 100C shown in FIG. 12, need not be worried about so much. Also, since the transparent electrode 106 is not used, the element does not have the problem involved in the light emitting element shown in FIG. 10. That is, the light emitting element 100B shown in FIG. 11 has good current-voltage characteristics as shown in FIG. 2 as "Comparative Example (2)".

[0014] However, this element also involves the problem that, since specific resistance of the p-type GaAlAs layer 109 is not as low as that of the transparent electrode, the current injected through the transparent electrode 107 does not spread uniformly over the entire emission surface of the element. To solve this problem, it is necessary to increase the thickness of the p-type GaAlAs layer 109 as thick as approximately 4 μm or more so as to reduce the current-spreading resistance. However, the thicker layer requires longer time for the crystal growth, and invites the problem of a higher manufacturing cost.

[0015] As reviewed above, in comparative semiconductor light emitting elements, it was difficult to achieve a sufficiently low resistance at the p-side, various approaches for overcoming it invited various problems such as deterioration of characteristics caused by diffusion of zinc and an increase of the manufacturing cost, for example.

SUMMARY OF THE INVENTION

[0016] It is therefore an object of the invention to provide an InGaAlP semiconductor light emitting element operative with a lower voltage and ensuring higher output than conventional elements.

[0017] According to the invention, there is provided a semiconductor light emitting element comprising an emission layer made of InGaAlP generating a light; a p-type contact layer made of a semiconductor doped with carbon as a p-type dopant; and a transparent electrode layer in contact with said p-type contact layer, said light generated at said emission layer being emitted through said transparent electrode.

[0018] In the present invention, a contact layer doped with a predetermined amount of carbon may be provided to decrease the contact resistance at the contact with the ITO electrode. Unlike zinc, carbon does not diffuse and does not deteriorate the property of the element.

[0019] An intermediate band gap layer having an intermediate band gap between those of the contact layer and the cladding layer may be interposed between the contact layer and the cladding layer to alleviate band discontinuity between their valence bands, thereby promote inflow of holes and decrease the element resistance.

[0020] The present invention is used in the above-explained modes and performs the following effects.

[0021] According to the invention, by using the carbon-doped low-resistance p-type contact layer interposed between the p-type cladding layer and the transparent electrode, the contact resistance at the contact with the transparent electrode made of an n-type semiconductor can be reduced effectively, and the element resistance upon application of a forward voltage to the semiconductor light emitting element can be reduced.

[0022] Additionally, the p-type intermediate band gap layer interposed between the p-type cladding layer and the p-type contact layer and having an intermediate band gap between band gaps of these layers alleviates band discontinuity of their valence bands, thereby promotes inflow of holes, and further reduces the element resistance.

[0023] Moreover, the invention realizes a semiconductor light emitting element remarkably excellent lifetime characteristics. That is, the invention uses carbon as the dopant for reducing the element resistance. Carbon does not readily diffuse in semiconductors, and removes the problem of deterioration of element characteristics caused by diffusion of the dopant into the active layer. Thus, the invention realizes remarkably excellent lifetime characteristics as compared with those of conventional light emitting elements using zinc.

[0024] Furthermore, the invention realizes a semiconductor light emitting element with a uniform emission intensity profile. That is, in conventional light emitting elements using a p-type GaAlAs current diffusion layer, specific resistance of GaAlAs is not as low as that of the transparent electrode, there was the

problem that current does not spread uniformly over the entire emission surface. In contrast, the invention ensures sufficient diffusion of current throughout the area from the proximity of the electrode to the outermost peripheral portions of the light emitting element, and thereby promises a uniform emission intensity profile throughout the entirety of the emission surface of the light emitting element.

[0025] Simultaneously, the invention improves optical output of the light emitting element. It promises optical output as large as approximately 1.5 times of optical output of a conventional light emitting element.

[0026] Furthermore, as a result of remarkable reduction of the element resistance, temperature characteristics of the light emitting element is improved in the present invention. That is, since the heat generation caused by an element resistance decreases in the present invention, the element can be stable in operation under high temperatures. This results in enabling the use of semiconductor light emitting elements under various severe conditions heretofore unacceptable, and largely extending the field of applications of semiconductor light emitting elements.

[0027] As described above, the invention can provide an InGaAlP light emitting element reduced in element resistance and excellent in emission characteristics and lifetime characteristics, and its industrial merit is great.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

[0028] The present invention will be understood more fully from the detailed description given hereinafter and from the accompanying drawings of the preferred embodiments of the invention. However, the drawings are not intended to imply limitation of the invention to a specific embodiment, but are for explanation and understanding only.

[0029] In the drawings;

[0030] FIG. 1 is a cross-sectional view schematically showing construction of a semiconductor light emitting element according to the first embodiment of the invention;

[0031] FIG. 2 is a characteristic diagram showing current-voltage characteristics of a semiconductor light emitting element 10A according to the invention;

[0032] FIG. 3 is a diagram showing the band structure of the light emitting element 10A according to the invention;

[0033] FIG. 4A is a diagram schematically showing construction of an element experimentally prepared for evaluation;

[0034] FIG. 4B is a graph showing current-voltage characteristics of the element for evaluation;

[0035] FIG. 5 is an explanatory diagram showing emission intensity profiles of light emitting elements, a combination of a plan view of the light emitting elements and a graph showing emission intensity profiles taken along their X-X lines;

[0036] FIG. 6 is a graph showing optical output characteristics of light emitting elements, taking current along the abscissa and optical outputs along the ordinate;

[0037] FIG. 7 is a characteristic diagram showing lifetime characteristics of the light emitting element according to the invention and a comparative light emitting element;

[0038] FIG. 8A is a cross-sectional view schematically showing construction of a semiconductor light emitting element according to the second embodiment of the invention;

[0039] FIG. 8B is a cross-sectional view schematically showing a modified version of the element according to the second embodiment of the invention;

[0040] FIG. 8C is a cross-sectional view schematically showing another modified version of the element according to the second embodiment of the invention;

[0041] FIG. 9 is a cross-sectional view schematically showing a semiconductor light emitting element according to the third embodiment of the invention;

[0042] FIG. 10 is a cross-sectional view schematically showing a first comparative InGaAlP semiconductor light emitting element;

[0043] FIG. 11 is a cross-sectional view schematically showing a second comparative InGaAlP semiconductor light emitting element; and

[0044] FIG. 12 is a cross-sectional view schematically showing a third comparative InGaAlP semiconductor light emitting element.

DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

[0045] Explained below are some embodiments of the invention with reference to the drawings.

[0046] FIG. 1 is a cross-sectional view schematically showing a semiconductor light emitting element according to the first embodiment of the invention. The light emitting element 10A shown here includes an n-type buffer layer 12, n-type cladding layer 13, active layer (emission layer) 14, p-type cladding layer 15, p-type intermediate band gap layer 21, p-type contact layer 22, and transparent electrode 16 sequentially stacked on an n-type GaAs substrate 11, and further formed are a p-side electrode 17 and an n-side electrode 18.

[0047] The p-type contact layer 22 is made of a semiconductor material having a relatively small band gap as compared with the cladding layer 15, and doped with carbon (C). Its material may be, for example, GaAs.

[0048] The intermediate band gap layer 21 has an intermediate band gap between those of the p-type cladding layer 15 and the contact layer 22. Its material may be, for example, GaAlAs or InGaAlP, and is selected appropriately depending on band gaps of the cladding layer 15 and the contact layer 22. Preferably, the intermediate band gap layer 21 is also doped with carbon to exhibit a p-type.

[0049] In this embodiment, the contact layer 22 made under the transparent electrode 16 and doped with carbon (C) remarkably decreases the resistance of the p-side, and thereby reduces the operation voltage of the semiconductor light emitting element. The intermediate band gap layer 21 alleviates discontinuity of valence bands and reduces the element resistance. Since carbon doped into these layers does not easily diffuse, deterioration of the element thereby need not be worried about.

[0050] Explained below is a method for manufacturing the light emitting element 10A according to the first embodiment of the invention, with reference to a specific element structure. The semiconductor layers 12 through 22 on the GaAs substrate 11 can be made by epitaxially grown using metal organic chemical vapor deposition (MOCVD), for example.

[0051] Exemplary approximate thicknesses and materials of these layers are: 0.5 [μ m] thick GaAs buffer layer 12, 0.6 [μ m] thick InAlP as the n-type cladding layer 13, 0.3 [μ m] thick InGaAlP as the active layer 14, 0.6 [μ m] thick InAlP as the p-type cladding layer 15, 0.1 [μ m] thick GaAlAs as the p-type intermediate band gap layer 21, 0.04 [μ m] thick GaAs:C (doped carbon) as the p-type contact layer 22. Composition of the active layer 14 may be appropriately determined to adjust the emission wavelength to a predetermined wavelength band such as red, orange, yellow, yellow-green or green, for example. Composition of GaAlAs forming the intermediate band gap layer 21 is preferably determined to make an intermediate band gap between the band gaps of the cladding layer 15 and the contact layer 22.

[0052] Source materials usable in MOCVD are, for example, organic metals such as trimethyl gallium (TMG), trimethyl aluminum (TMA) and trimethyl indium (TMI), and hydride gases such as arsine (AsH_3) and phosphine (PH_3), for example.

[0053] The buffer layer 12 and the n-type cladding layer 13 are doped with silicon (Si) as an n-type impurity whereas the p-type cladding layer 15 is doped with zinc (Zn) as a p-type impurity. The intermediate band gap layer 21 and the contact layer 22 are doped with carbon (C) as a p-type impurity. Usable source materials of impurities such as silicon, zinc, carbon, etc. are, for example, silane (SiH_4), dimethyl zinc (DMZ) and carbon tetrabromide (CBr_4).

[0054] For crystal growth by MOCVD, the temperature is set at approximately 700[deg.] C. After growing respective layers, electrodes are formed, and the substrate is divided into chips to complete light emitting elements.

[0055] Usable as the material of the transparent electrodes 16 are optically transmitting, electrically conductive materials such as ITO (indium tin oxide), tin oxide and indium oxide. These materials can be stacked by sputtering, for example.

[0056] FIG. 2 is a diagram showing current-voltage characteristics of the semiconductor light emitting element 10A prepared in this manner. For the comparison purpose, FIG. 2 also shows characteristics of comparative elements of FIGS. 10 through 12 as "Comparative Examples (1)" through "Comparative Examples (3)".

[0057] As understood from FIG. 2, in the semiconductor light element 10A according to the invention, the forward current suddenly increases under the voltage of approximately 2 V. That is, it exhibits current characteristics further more excellent than "Comparative Example (2)" which shows characteristics of the light emitting element 100B shown in FIG. 11 as having the thick p-type GaAlAs current diffusion layer 109.

[0058] A reason why the invention attains such good current-voltage characteristics lies in that the c

doped, low-resistance p-type GaAs contact layer 22 and the p-type GaAlAs intermediate band gap layer 21 are inserted between the p-type cladding layer 15 and the transparent electrode 16. The p-type contact layer 22 has the role of reducing the contact resistance with the transparent electrode 16. The intermediate band gap layer 21 functions to alleviate discontinuity between valence bands of the p-type GaAs contact layer 22 and the p-type InGaAlP cladding layer 15.

[0059] FIG. 3 is a diagram schematically showing the band structure of the light emitting element 10 according to the invention. There is a difference of approximately 0.6 eV between valence band energy E_v of the contact layer 22 doped with a plenty of carbon and the p-type cladding layer 15. If these layers are formed in direct contact, a high barrier is made by the discontinuity of valence bands, and when forward voltage is applied, inflow of holes is blocked, and the resistance increases. In contrast, the invention interposing the semiconductor layer 21 having an intermediate band gap between the contact layer 22 and the cladding layer 15 alleviates the discontinuity of valence bands, thereby promotes inflow of holes as shown by arrows in FIG. 3, and successfully reduces the element resistance against the forward bias.

[0060] For example, if the cladding layer 15 is made of InAlP and the contact layer 22 is made of GaAs, the intermediate band gap layer 21 is preferably made of Ga_{1-x}Al_xAs in which the mole fraction x of aluminum is selected in the range of 0.5 to 0.7. This range of composition decreases the discontinuity of valence bands at the junction between the cladding layer 15 and the intermediate band gap layer 22 and between the intermediate band gap layer 21 and the contact layer 22 to approximately 0.3 eV, and thereby reduces the element resistance sufficiently enough to promote inflow of holes.

[0061] Carbon is a preferable dopant of the intermediate band gap layer 21 because carbon does not diffuse and does not invite deterioration of characteristics, unlike zinc, as explained before. Its doping amount is preferably not less than $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ to prevent an increase of the element resistance.

[0062] If the doping amount of the contact layer increased, the thickness d of the depletion layer (barrier) between the electrode 16 and the contact layer 22 becomes thinner. When the thickness decreases to $[\mu\text{m}]$ approximately, holes completely tunnel the barrier, and nothing disturbs the inflow of holes. Therefore, the element resistance there remarkably decreases.

[0063] The element resistance can be reduced acceptably even when the thickness of the depletion layer decreases as thin as 0.01 $[\mu\text{m}]$ or less. To confirm it, the Inventor actually made samples and evaluated them as explained below.

[0064] FIG. 4A is a diagram schematically showing construction of the evaluation element. FIG. 4B is a graph showing current-voltage characteristics of the evaluation element.

[0065] As shown in FIG. 4A, the sample element for evaluation has the structure stacking the contact layer 22 and the ITO electrode 16 on the p-type GaAs substrate 25. The doping amount of carbon into the contact layer 21 was changed as $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ and $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ to prepare three kinds of samples. The thickness of the p-type GaAs substrate 25 was approximately 250 $[\mu\text{m}]$. Then, a voltage was applied to these evaluation elements to be reversed at the junction of the ITO electrode 16 and the contact layer 21 as shown in FIG. 4A. The voltage polarity corresponds to a forward voltage in the light emitting element.

[0066] As a result, as shown in FIG. 4B, there was confirmed the tendency that, as the doping amount of carbon increases, the element resistance decreases, and with a doping amount of approximately $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ or higher, the element resistance suddenly decreases. That is, it has been confirmed that doping of carbon in the amount of $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ or more can remarkably decrease the element resistance.

[0067] Next explained is how the light emitting element according to the invention is improved in its emission profile and in optical output, comparing with comparative examples.

[0068] FIG. 5 is an explanatory diagram of the emission intensity profile of the light emitting element 10. FIG. 5 shows, in combination, a rough plan view of the light emitting element and a graph showing its emission intensity profile taken along the X-X line of the plan view. FIG. 5 also shows characteristic emission intensity profile of the light emitting element shown in FIG. 11 as "Comparative Example (2)" together with those of the light emitting element 10A according to the invention. The light emitting element as "Comparative Example (2)" has a p-type GaAlAs current diffusion layer 109 in lieu of a transparent electrode on the emission surface.

[0069] In Comparative Example (2), there is the problem that, since the specific resistance of the p-type GaAlAs layer 109 does not decrease as low as that of the ITO transparent electrode, the current does not spread uniformly over the entire emission surface. That is, as shown in the graph of FIG. 5, the emission intensity is not uniform.

intensity profile of Comparative Example (2) is not uniform. Additionally, although emission is intense around the electrode, the current does not flow sufficiently to peripheral portions of the element, and emission intensity suddenly decreases. In contrast, the intensity profile of the light emitting element according to the invention is uniform over the entire emission surface, and the current spreads over a sufficient area from the proximity to the electrode to the outermost peripheral portions of the element which evidences uniform and intensive emission.

[0070] According to the invention, along with such improvement in emission intensity profile, optical output of the element was also improved.

[0071] FIG. 6 is a graph showing optical output characteristics of the light emitting element. In FIG. 6, the abscissa shows the current, and ordinate shows the optical output. Here are also shown characteristic of the light emitting element shown in FIG. 11 as "Comparative Example (2)" together with those of the light emitting element 10A according to the invention. It is confirmed here that the light emitting element according to the invention has been improved also in optical output together with the improvement in emission intensity profile, and exerts optical outputs as large as approximately 1.5 times the optical output of the light emitting element of Comparative Example (2).

[0072] Next explained is how the light emitting element according to the invention has been improved in lifetime characteristics, in comparison with comparative examples.

[0073] FIG. 7 is a diagram showing lifetime characteristics of the light emitting element 10A according to the invention and light emitting elements as Comparative Examples. Comparative Example (3) has a structure stacking the p-type GaAs low-resistance contact layer 110 doped with a large amount of zinc ($1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$) on the p-type cladding layer 105 as shown in FIG. 12. The element as Comparative Example (3) is weak in initial optical output as illustrated, and rapidly deteriorates due to dispersion of zinc.

[0074] In the element as Comparative Example (2), the p-type GaAlAs current diffusion layer 109 is instead of a transparent electrode. Although the element of Comparative Example (2) exhibits relatively good lifetime characteristics as illustrated, the thick p-type GaAlAs current diffusion layer 109 increases the manufacturing cost.

[0075] In contrast to these Comparative Examples, the light emitting element 10A according to the invention is excellent also in initial characteristics of optical output, and very stable in lifetime. That is, the invention successfully reduces the element resistance and improves the emission output by doping a small amount of carbon instead of zinc into the p-type GaAs layer 22. Since carbon does not readily diffuse unlike zinc, even with a large amount of doped carbon, deterioration of element characteristics need not be worried about. As a result, good lifetime characteristics as shown in FIG. 7 can be obtained.

[0076] Next explained is the second embodiment of the invention.

[0077] FIG. 8A is a cross-sectional view schematically showing construction of a semiconductor light emitting element according to the second embodiment of the invention. The light emitting element 10 shown here also includes a plurality of semiconductors stacked on the n-type GaAs substrate 11. These are sequentially stacked are the n-type GaAs buffer layer 12, n-type InGaAlP cladding layer 13, InGaAlP multi-quantum well active layer 26, p-type InGaAlP cladding layer 15, p-type GaAlAs intermediate gap layer 21, p-type GaAs:C contact layer 22, and ITO (indium tin oxide) transparent electrode 16. Formed are the p-side electrode 17 and the n-side electrode 18.

[0078] The embodiment shown here additionally includes a current blocking layer 23 between the p-type contact layer 22 and the ITO electrode 16. The current blocking layer 23 is selectively formed to locally immediately under the p-side electrode 17 formed on the surface. Even when emission occurs under the side electrode, light is blocked by the p-side electrode 17 and cannot be taken out externally. In the embodiment shown here, having the current block layer 23, it is prevented to inject a current under the side electrode 17 to prevent useless emission, and thereby to improve the light extraction efficiency.

[0079] The embodiment shown here also has an optical reflection layer 24 under the n-type cladding layer 13. The optical reflection layer 24 reflects the downward emitted light from the active layer 14 to reflect it upward. The optical reflection layer 24 may be a so-called Bragg multi-layered reflector in which kinds of semiconductor layers different in refractive index are stacked alternately. More specifically, a multi-layered structure with 10 to 20 cycles of layers of InAlP/InGaAlP or InAlP/GaAs, for example, is desirable as the optical reflection layer 24.

[0080] The embodiment shown here uses the InGaAlP multi-quantum well active layer 26 as its emission layer on the n-type cladding layer 13, and thereby improves its emission output more than the use of

typical InGaAlP active layer 14.

[0081] Also in the embodiment shown here, there are formed the p-type contact layer 22 and the intermediate band gap layer 21 doped with carbon. Therefore, here are also ensured various effects such as remarkable reduction of the element resistance, uniform emission intensity, increase of optical output, improvement of the element lifetime, and so on, which were explained with reference to the light emitting element 10A according to the first embodiment.

[0082] FIG. 8B is a cross-sectional view schematically showing a modified version of the instant embodiment. The semiconductor light emitting element 10B2 shown here also has a plurality of semiconductor layers on the n-type GaAs substrate 11. Components identical to those of the semiconductor light emitting element shown in FIG. 8A are labeled with common reference numerals, and their detailed explanation is omitted.

[0083] In the modified version shown here, the interface between the p-type InGaAlP cladding layer and the p-type GaAlAs intermediate band gap layer 21 exhibits irregularity to improve the extraction efficiency of light emitted from the active layer 26 for the reason explained below.

[0084] In a double-hetero structure as shown here, refractive index of the cladding layer 15 is smaller than that of the intermediate layer 21 formed thereon. As a result, if the interface is flat and smooth, light emitted from the active layer 26 and entering at an angle to the interface between the cladding layer 15 and the intermediate layer 21 is liable to be totally reflected, and extraction of light is disturbed.

[0085] In the modified version shown here, making the bumpy interface between the cladding layer and the intermediate layer 21, ensures that light components entering at an angle to the light extraction surface pass through externally, depending upon angles of local planes where they enter. Additionally, totally reflected components of light repeat reflection by the irregular planes, and can pass through externally when occasionally entering irregular planes by normal angles smaller than the critical angles.

[0086] That is, as compared with the flat and smooth interface, the irregular interface increases the probability of entry of light by normal angles smaller than the critical angles. As a result, as shown by arrows A and B in FIG. 8B, the efficiency of external extraction of light emitted from the active layer, i.e., external quantum efficiency, can be improved.

[0087] The effect of these irregular planes can be obtained also when they are made along the interface between the intermediate layer 21 and the contact layer 22, or only on the surface of the contact layer, for example, instead of the interface between the cladding layer 15 and the intermediate layer 21.

[0088] FIG. 8C is a cross-sectional view schematically showing another modified version of the instant embodiment. The semiconductor light emitting element 10B3 shown here also has a plurality of semiconductor layers stacked on the n-type GaAs substrate 11. Components therein identical to those of the semiconductor light emitting element shown in FIG. 8A are labeled with common reference numerals, and their detailed explanation is omitted.

[0089] In the modified version shown here, an optical reflection layer is made on the p-type InGaAlP cladding layer 15. Optical reflectance of the optical reflection layer 28 is set lower than that of the optical reflection layer 24 located below to permit light to pass through and be emitted upward through the transparent electrode 16.

[0090] In the light emitting element as the modified version shown here, light emitted from the active layer 26 is resonated by the optical reflection layer 28 and the optical reflection layer 24 to sharpen the emission spectrum and improve the monochromy. This is called a resonant cavity LED, and it is an advantageous construction as LED for transmitting optical signals to optical fibers, for example.

[0091] Resonance between the optical reflection layers 24 and 28 may be strengthened to cause laser oscillation, thereby to realize a surface emitting laser element.

[0092] Such resonant LEDs and surface emitting laser elements also ensure the same various effects mentioned with reference to FIGS. 1 through 7.

[0093] Next explained is a cross-sectional view schematically showing construction of a semiconductor light emitting element according to the third embodiment of the invention. The light emitting element shown here also has a plurality of semiconductor layers stacked on the n-type GaAs substrate 11. More specifically, there are sequentially stacked the n-type GaAs buffer layer 12, n-type InGaAlP cladding layer 13, InGaAlP active layer 14, p-type InGaAlP cladding layer 15, p-type GaAlAs intermediate band gap layer 21, p-type GaAs:C contact layer 22 and ITO (indium tin oxide) transparent electrode 16. There is further formed the p-side electrode 17 and the n-side electrode 18.

[0094] In the embodiment shown here, the p-type contact layer 22 and the p-type intermediate band

layer 21 are selectively removed immediately under the p-side electrode 17 to make it difficult for a current to flow immediately under the surface electrode. That is, the removed portion behaves as a p current block layer to improve the light extraction efficiency as the above-explained element according to the second embodiment.

[0095] The embodiment shown here also provides the p-type contact layer 22 and the intermediate band gap layer 21 doped with carbon around the electrode 17. Therefore, it also ensures various effects such as remarkable reduction of the element resistance, uniform emission intensity, large optical output, improvement of the element lifetime, which were explained with reference to the light emitting element 10A according to the first embodiment.

[0096] Heretofore, some embodiments of the invention have been explained, while referring to specific examples. The invention, however, is not limited to these examples. For example, structures of the semiconductor light emitting elements described above are not but some examples, and the invention is applicable to semiconductor light emitting elements having other various structures using InGaAlP semiconductors as their emission layers (active layers) to obtain the same effects. Also regarding materials and compositions of respective layers forming the semiconductor light emitting element, appropriate materials may be selected from known materials and compositions and used similarly.

[0097] For example, the active layer may be either as a so-called multi-quantum well (MQW) structure including an optical guide layer having an intermediate refractive index between the active layer and cladding layer, or as a so-called graded structure in which the composition of the cladding layer is gradually changed.

[0098] While the present invention has been disclosed in terms of the preferred embodiment in order to facilitate better understanding thereof, it should be appreciated that the invention can be embodied in various ways without departing from the principle of the invention. Therefore, the invention should be understood to include all possible embodiments and modifications to the shown embodiments which are embodied without departing from the principle of the invention as set forth in the appended claims.

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

Claims of corresponding document: **US6350997**

What is claimed is:

[0099] 1. A semiconductor light emitting element comprising: an n-type cladding layer made of InGaAlP; an emission layer made of InGaAlP generating a light on said n-type cladding layer; a p-type cladding layer made of InGaAlP on said emission layer; a p-type contact layer made of GaAs over said p-type cladding layer, and doped with carbon as a p-type dopant; and a transparent electrode layer in contact with said p-type contact layer, said light generated at said emission layer being emitted through said transparent electrode.

[0100] 2. The semiconductor light emitting element according to claim 1 wherein said p-type contact layer is doped with carbon in the amount of $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ or more.

[0101] 3. The semiconductor light emitting element according to one of claim 1 further comprising an intermediate band gap layer interposed between said emission layer and said contact layer and made of a type semiconductor having a band gap larger than a band gap of said contact layer.

[0102] 4. The semiconductor light emitting element according to claim 3 wherein said intermediate band gap layer is doped with carbon as a p-type dopant.

[0103] 5. The semiconductor light emitting element according to claim 4 wherein said intermediate band gap layer is doped with carbon in the amount of $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ or more.

[0104] 6. The semiconductor light emitting element according to claim 3 wherein said transparent

electrode includes indium tin oxide as a main component.

[0105] 7. A semiconductor light emitting element comprising: an n-type cladding layer made of InGa; an emission layer made of InGaAlP on said n-type cladding layer; a p-type cladding layer made of InGaAlP on said emission layer; a p-type contact layer made of GaAs on said p-type cladding layer, having a band gap smaller than that of said p-type cladding layer and doped with carbon as a p-type dopant; and a transparent electrode layer in contact with said p-type contact layer.

[0106] 8. A semiconductor light emitting element comprising: an n-type GaAs substrate; an n-type cladding layer made of n-type InAlP on said substrate; an emission layer made of InGaAlP on said n-type cladding layer; a p-type cladding layer made of p-type InAlP on said emission layer; a p-type contact layer on said p-type cladding layer made of a semiconductor having a band gap smaller than that of said p-type cladding layer and doped with carbon; and a transparent electrode layer in contact with said p-type contact layer.

[0107] 9. The semiconductor light emitting element according to claim 7 wherein said p-type contact layer is doped with carbon in the amount of $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ or more.

[0108] 10. The semiconductor light emitting element according to one of claim 7 further comprising an intermediate band gap layer interposed between said p-type cladding layer and said contact layer and made of a p-type semiconductor having a band gap smaller than that of said p-type cladding layer and larger than that of said contact layer.

[0109] 11. The semiconductor light emitting element according to claim 10 wherein said intermediate band gap layer is made of AlGaAs.

[0110] 12. The semiconductor light emitting element according to claim 11 wherein a mole fraction of aluminum in $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ of said intermediate band gap layer is selected in a range of 0.5 to 0.7.

[0111] 13. The semiconductor light emitting element according to claim 10 wherein said intermediate band gap layer is doped with carbon as a p-type dopant.

[0112] 14. The semiconductor light emitting element according to claim 13 wherein said intermediate band gap layer is doped with carbon in the amount of $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ or more.

[0113] 15. The semiconductor light emitting element according to claim 10 wherein an interface between said p-type cladding layer and said intermediate band gap layer exhibits irregularity to improve the extraction efficiency of light emitted from said active layer.

[0114] 16. The semiconductor light emitting element according to claim 10 further comprising a first optical reflection layer arranged under said n-type cladding layer to reflect a downward emitted light from said active layer upward.

[0115] 17. The semiconductor light emitting element according to claim 16 further comprising a second optical reflection layer arranged on said p-type cladding layer and having a reflectance lower than a reflectance of said first optical reflection layer to resonate a light emitted from said emission layer between said first optical reflection layer and said second optical reflection layer.

[0116] 18. The semiconductor light emitting element according to claim 10 further comprising a current blocking layer partially arranged between said p-type contact layer and said transparent electrode layer and a metal electrode layer arranged on said transparent electrode layer so as to essentially overlap said current blocking layer, an injection of a current under said metal electrode being prevented by said current blocking layer in order to prevent useless emission and thereby improving a light extraction efficiency.

[0117] 19. The semiconductor light emitting element according to one of claim 10 wherein said transparent electrode includes indium tin oxide as a main component.

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-307810

(43) 公開日 平成11年(1999)11月5日

(51) Int.Cl.⁸

H 0 1 L 33/00

識別記号

F I

H 0 1 L 33/00

B

E

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平10-113666

(22) 出願日 平成10年(1998) 4 月23日

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 佐 伯 亮

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地 株式会
社東芝川崎事業所内

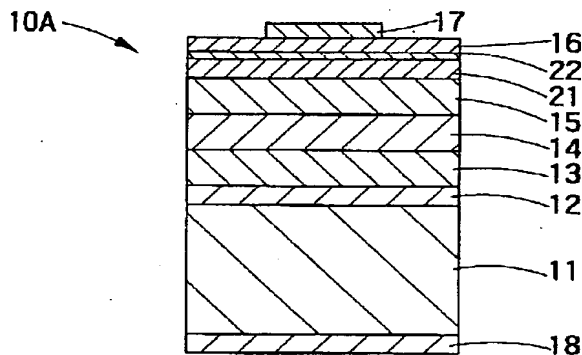
(74) 代理人 弁理士 佐藤 一雄 (外 3 名)

(54) 【発明の名称】 半導体発光素子

(57) 【要約】

【課題】 InGaAlP系半導体発光素子において、動作電圧を低下させ、かつ従来より高出力化を実現した半導体発光素子を提供することを目的とする。

【解決手段】 所定量の炭素をドーピングしたコンタクト層を設けることにより、ITO電極との接触抵抗を低下させることができる。炭素は亜鉛のように拡散して素子特性を劣化させることもない。さらに、コンタクト層とクラッド層との中間的なバンドギャップを有する中間バンドギャップ層を介在させることにより価電子帯のバンド不連続を緩和して正孔の流入を促進させ、素子抵抗を低下させることができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】InGaAlP系半導体からなる発光層と、炭素がドーブされたp型コンタクト層と、前記p型コンタクト層に接触して設けられた透明電極層と、を備えたことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項2】InGaAlP系半導体からなるn型クラッド層と、前記n型クラッド層の上に設けられInGaAlP系半導体からなる発光層と、前記発光層の上に設けられp型のInGaAlP系半導体からなるp型クラッド層と、前記p型クラッド層の上に設けられ、前記p型クラッド層よりもバンドギャップが小さい半導体により構成され、且つ炭素がドーブされたp型コンタクト層と、前記p型コンタクト層に接触して設けられた透明電極層と、を備えたことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項3】n型GaAs基板と、前記基板の上に設けられn型InAlPからなるn型クラッド層と、前記n型クラッド層の上に設けられInGaAlPからなる発光層と、前記発光層の上に設けられp型InAlPからなるp型クラッド層と、前記p型クラッド層の上に設けられ、前記p型クラッド層よりもバンドギャップが小さい半導体により構成され、且つ炭素がドーブされたp型コンタクト層と、前記p型コンタクト層に接触して設けられた透明電極層と、を備えたことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項4】前記p型コンタクト層は、GaAsからなることを特徴とする請求項1～3のいずれか1つに記載の半導体発光素子。

【請求項5】前記p型コンタクト層は、前記炭素が $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上ドーブされていることを特徴とする請求項1～4のいずれか1つに記載の半導体発光素子。

【請求項6】前記p型クラッド層と前記コンタクト層との間に、前記p型クラッド層よりもバンドギャップが小さく且つ前記コンタクト層よりもバンドギャップが大きいp型の半導体からなる中間バンドギャップ層が設けられたことを特徴とする請求項2～5のいずれか1つに記載の半導体発光素子。

【請求項7】前記中間バンドギャップ層は、GaAlAsからなることを特徴とする請求項6記載の半導体発光素子。

【請求項8】前記GaAlAsのアルミニウム組成比は、0.5以上0.7以下であることを特徴とする請求項7記載の半導体発光素子。

【請求項9】前記中間バンドギャップ層は、炭素がドーブされていることを特徴とする請求項7または8に記載の半導体発光素子。

【請求項10】前記中間バンドギャップ層は、前記炭素が $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上ドーブされていることを特徴とする請求項9記載の半導体発光素子。

【請求項11】前記透明電極は、酸化インジウム錫からなることを特徴とする請求項1～10のいずれか1つに記載の半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体発光素子に関する。より具体的には、本発明は、InGaAlPを材料とし、n型GaAs基板上に形成され、発光表面に透明電極を備えた発光ダイオードにおいて、透明電極とp型クラッド層の間に炭素をドーブしたp型GaAlAs層、またはp型GaAs層、もしくはその両方を挿入して、発光ダイオードの動作電圧を低下させ、かつ従来より高出力化を実現した半導体発光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体発光素子は、コンパクト且つ低消費電力であり、信頼性に優れるなどの多くの利点を有し、近年では、高い発光輝度が要求される室内外の表示板、鉄道／交通信号、車載用灯具などについても広く応用されつつある。特に、4元化合物半導体であるInGaAlP系材料を発光層として用いたものは、その組成を調節することにより、赤色から緑色までの幅広い波長帯において発光させることができる。

【0003】なお、本明細書において「InGaAlP系」とは、組成式 $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{P}$ における組成比 x および y を、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、但し $(x+y) \leq 1$ の範囲で変化させたあらゆる組成の半導体を含むものとする。すなわち、InGaP、InAlP、InGaAlP、GaP、GaAlPなどの混晶系も「InGaAlP系」に含まれるものとする。さらに、V族元素としてリン(P)の他に砒素(As)を含有した混晶も含むものとする。

【0004】従来から、InGaAlP系の発光ダイオード(LED)の基板には、不純物にシリコン(Si)を用いたn型のGaAs基板を用いるのが一般的であった。

【0005】図10～図12は、従来のInGaAlP系の半導体発光素子を表す概略断面図である。

【0006】すなわち、図10に示した発光素子100Aは、n型GaAs基板101の上に、n型GaAsバッファ層102、n型InGaAlPクラッド層103、InGaAlP活性層104、p型InGaAlPクラッド層105、ITO(Indium Tin Oxide)透明電極106が順次積層され、さらに、p側電極107、およびn側電極108が形成されている。各半導体層10

1~105は、例えば、有機金属化学気相成長法(MOCVD法)によりエピタキシャル成長して形成される。

【0007】また、図11に示した発光素子100Bにおいては、p型クラッド層105の上にp型GaAlAs電流拡散層109が設けられ、p側電極107から注入された電流が素子の面内方向に拡散して拡がるようにしている。ここで、図10に示した発光素子と同一の部分には同一の符号を付して説明を省略する。

【0008】また、図12に示した発光素子100Cにおいては、p型クラッド層105の上にp型GaAs低抵抗コンタクト層110と透明電極106とが積層されている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかし、図10と図12に示したInGaAlP系LEDの動作特性には、大きな問題点がある。特に、図10に示した構造では、問題が大きすぎて現在までに実用化に至っていない。その主な原因は、透明電極106を設けたことにある。このような透明電極106は、発光表面の電流広がりや発光強度分布均一化を目的として設けられている。しかし、透明電極106は、ITO(酸化インジウム・錫)等のn型半導体であり、一方、これと接するクラッド層105はp型半導体である。従って、LED100Aに対して順方向の動作電圧を印加すると、透明電極106とp型クラッド層105との間は逆方向バイアス状態となる。その結果として、図2に「従来例(1)」として示したように電流が殆ど流れない。

【0010】これに対して、図12に示した発光素子100Cにおいては、p型クラッド層105と透明電極106との間に、多量($\sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)の亜鉛(Zn)をドーブしたp型GaAs低抵抗コンタクト層110が設けられている。このようにすれば、接触抵抗が低下して、図2に「従来例(3)」として示したように、比較的良好な電流・電圧特性を得ることができる。

【0011】しかし、このようにすると、Znを多量にドーブすることによる問題が生じる。即ち、亜鉛は熱や電流による拡散を起こし易く、p型GaAs層110に多量にドーブした亜鉛は、結晶成長中のみならず、素子動作中(すなわち電流を流した時)にも拡散を起こして発光層である活性層104の品質を劣化させ、素子の初特性や寿命特性に悪影響を及ぼす。その結果として、図7に「従来例(3)」として示したように光出力が低く、またその寿命も短く急速に劣化してしまう。一方、亜鉛のドーブ量が少なければ($1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下)、p型GaAs層110が低抵抗コンタクト層として機能しないので、素子の電流・電圧特性が悪化してしまう。

【0012】一方、図11に示した発光素子100Bにおいては、透明電極の代わりにp型GaAlAs電流拡散層109が発光表面側に設けられている。このp型G

aAlAs層109は、活性層104からの発光を透過するようにAl組成を大きくし、かつ低抵抗となるように亜鉛をドーブする。このときの亜鉛ドーブ量は $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 程度で十分なので、図12に示した発光素子100Cのように亜鉛の拡散による不良発生の懸念は少ない。また、透明電極106を用いないので、図10に示した発光素子100Aのような問題も無い。すなわち、図11の発光素子100Bは、図2に「従来例(2)」として示したように、良好な電流・電圧特性を有する。

【0013】しかし、p型GaAlAs層109の抵抗率は、透明電極ほどには低くないので、電極107を介して注入された電流が素子の発光面全体に均一に広がらないという問題がある。この問題を解決するためには、p型GaAlAs層109の厚さを $4 \mu\text{m}$ 程度以上に厚くして、電流広がり抵抗を減らす必要があるとされる。しかし、厚い層を成長させるためには長い成長時間が必要で、製造コストを高めてしまうという問題を生ずる。

【0014】以上説明したように、従来の半導体発光素子においては、p側において十分な低抵抗を得ることが容易でなく、また、これを解決しようすると、亜鉛の拡散による特性の劣化が生じたり、製造コストが高くなるという種々の問題があった。

【0015】本発明は、かかる種々の問題点を鑑みてなされたものである。すなわち、本発明は、InGaAlP系半導体発光素子において、動作電圧を低下させ、かつ従来より高出力化を実現した半導体発光素子を提供することを目的とするものである。

【0016】

【課題を解決するための手段】すなわち、本発明の半導体発光素子は、InGaAlP系半導体からなる発光層と、炭素がドーブされたp型コンタクト層と、前記p型コンタクト層に接触して設けられた透明電極層と、を備えたことを特徴とする。

【0017】または、本発明の半導体発光素子は、InGaAlP系半導体からなるn型クラッド層と、前記n型クラッド層の上に設けられInGaAlP系半導体からなる発光層と、前記発光層の上に設けられp型のInGaAlP系半導体からなるp型クラッド層と、前記p型クラッド層の上に設けられ、前記p型クラッド層よりもバンドギャップが小さい半導体により構成され、且つ炭素がドーブされたp型コンタクト層と、前記p型コンタクト層に接触して設けられた透明電極層と、を備えたことを特徴とする。

【0018】または、本発明の半導体発光素子は、n型GaAs基板と、前記基板の上に設けられn型InAlPからなるn型クラッド層と、前記n型クラッド層の上に設けられInGaAlPからなる発光層と、前記発光層の上に設けられp型InAlPからなるp型クラッド層と、前記p型クラッド層の上に設けられ、前記p型ク

ラッド層よりもバンドギャップが小さい半導体により構成され、且つ炭素がドーピングされたp型コンタクト層と、前記p型コンタクト層に接触して設けられた透明電極層と、を備えたことを特徴とする。

【0019】ここで、本発明の望ましい実施の形態として、前記p型コンタクト層は、GaAsからなることを特徴とする。

【0020】また、前記p型コンタクト層は、前記炭素が $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上ドーピングされていることを特徴とする。

【0021】また、前記p型クラッド層と前記コンタクト層との間に、前記p型クラッド層よりもバンドギャップが小さく且つ前記コンタクト層よりもバンドギャップが大きいp型の半導体からなる中間バンドギャップ層が設けられたことを特徴とする。

【0022】ここで、前記中間バンドギャップ層は、GaAlAsからなることを特徴とする。

【0023】前記GaAlAsのアルミニウム組成比は、0.5以上0.7以下であることを特徴とする。

【0024】また、前記中間バンドギャップ層は、炭素20がドーピングされていることを特徴とする。

【0025】また、前記中間バンドギャップ層は、前記炭素が $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上ドーピングされていることを特徴とする。

【0026】また、前記透明電極は、酸化インジウム錫からなることを特徴とする。

【0027】

【発明の実施の形態】本発明においては、所定量の炭素をドーピングしたコンタクト層を設けることにより、ITO電極との接触抵抗を低下させることができる。炭素は亜鉛のように拡散して素子特性を劣化させることもない。さらに、本発明においては、コンタクト層とクラッド層との中間的なバンドギャップを有する中間バンドギャップ層を介在させることにより価電子帯のバンド不連続を緩和して正孔の流入を促進させ、素子抵抗を低下させることができる。

【0028】以下、図面を参照しつつ本発明の実施の形態について説明する。図1は、本発明の第1の実施の形態に係る半導体発光素子の構造を表す概略断面図である。すなわち、同図に示した発光素子10Aは、n型GaAs基板11の上に、n型バッファ層12、n型クラッド層13、活性層（発光層）14、p型クラッド層15、p型中間バンドギャップ層21、p型コンタクト層22、透明電極16が順次積層され、さらに、p側電極17、およびn側電極18が形成されている。

【0029】ここで、p型コンタクト層22は、クラッド層15と較べて比較的小さいバンドギャップを有する半導体材料からなり、且つ炭素（C）がドーピングされている。その材料としては、例えば、GaAsを用いることができる。

【0030】また、中間バンドギャップ層21は、p型クラッド層15とコンタクト層22の中間的なバンドギャップを有する層である。その材料としては、例えば、GaAlAsやInGaAlPを挙げることができる。クラッド層15とコンタクト層22のバンドギャップに応じて適宜選択することができる。さらに、この中間バンドギャップ層21にも炭素をドーピングしてp型とすることが望ましい。

【0031】本発明においては、ITO電極16の下に、炭素（C）をドーピングしたコンタクト層22を設けることにより、p側の抵抗を顕著に低下させ、半導体発光素子の動作電圧を低下させることができる。また、中間バンドギャップ層21を設けることにより、価電子帯のバンド不連続を緩和し、素子抵抗を低減することができる。さらに、これらの層にドーピングした炭素は、拡散しにくいので、素子特性を劣化させる心配もない。

【0032】本発明の発光素子10Aの製造方法について具体的な素子構造を参照しつつ概略的に説明すれば以下の如くである。すなわち、GaAs基板11の上の各半導体層12～22は、例えば、有機金属化学気相成長法（MOCVD法）によりエピタキシャル成長して形成することができる。

【0033】各層の層厚と材料は、例えば以下のようにすることができる。すなわち、バッファ層12として約0.5 μm のGaAs、n型クラッド層13として約0.6 μm のInAlP、活性層14として約0.3 μm のInGaAlP、p型クラッド層15として約0.6 μm のInAlP、p型中間バンドギャップ層21として約0.1 μm のGaAlAs、p型コンタクト層22として約0.04 μm のGaAs:C（炭素ドーピング）を用いることができる。ここで、活性層14の組成は、発光波長が赤色、橙色、黄色、黄緑色、緑色などの所定の波長帯になるように適宜決めることができる。また、中間バンドギャップ層21を構成するGaAlAsの組成は、クラッド層15とコンタクト層22との中間的なバンドギャップを有するように決定することが望ましい。

【0034】一方、MOCVD法において用いる原料としては、例えば、トリメチルガリウム（TMG）、トリメチルアルミニウム（TMA）、トリメチルインジウム（TMI）などの有機金属や、アルシン（AsH₃）、ホスフィン（PH₃）などの水素化合物ガスを挙げることができる。

【0035】バッファ層12とn型クラッド層13にはn型不純物としてシリコン（Si）をドーピングし、p型クラッド層15にはp型不純物として亜鉛（Zn）をドーピングする。そして、中間バンドギャップ層21とコンタクト層22には、p型不純物として炭素（C）をドーピングする。シリコン、亜鉛、炭素などの各不純物の原料としては、例えば、シラン（SiH₄）、ジメチル亜

鉛(DMZ)、四臭化炭素(CBr₄)を用いることができる。

【0036】MOCVD法による結晶成長の温度は、約700℃である。各層を成長した後に、電極を付け、チップの大きさに分割して発光素子を形成する。

【0037】一方、透明電極層16の材料としては、ITO(Indium Tin Oxide: インジウム錫酸化物)や、錫酸化物などの透光性を有する導電材料を用いることができる。これらの材料は、例えば、スパッタリング法により堆積することができる。

【0038】図2は、このようにして製作した半導体発光素子10Aの電流・電圧特性を表す特性図である。同図には、比較のために、図10～図12に示した従来の素子も「従来例(1)」～「従来例(3)」として併せて示した。

【0039】同図から分かるように、本発明の半導体発光素子10Aは、約2ボルトで順方向電流が急激に増加し、「従来例(2)」よりもさらに優れた電流特性を有する。なお、「従来例(2)」は、図11に示したような厚いp型GaAlAs電流拡散層109を有する発光素子100Bの特性を表すものである。

【0040】本発明において、このように良好な電流・電圧特性が得られる理由は、p型クラッド層15と透明電極16との間に、炭素をドーピングした低抵抗p型GaAsコンタクト層22とp型GaAlAs中間バンドギャップ層21を挿入したからである。ここで、p型コンタクト層22は、ITO透明電極16との接触抵抗を低減する役割を有する。また、中間バンドギャップ層21は、p型GaAsコンタクト層22とp型InGaAlPクラッド層15との価電子帯バンドの不連続を緩和する役割を有する。

【0041】図3は、本発明の発光素子10Aのバンド構造を表す概略図である。同図に表したように、炭素を多量にドーピングしたコンタクト層22とp型クラッド層15の価電子帯エネルギーE_vは、約0.6eVのずれを有する。このまま両者を接合させるとその界面において価電子帯の不連続による高い障壁が形成され、順方向電圧を印加した時に、正孔の流入が阻止されて抵抗が増大するという問題が生ずる。これに対して、本発明においては、図示したように、コンタクト層22とクラッド層15との間に両者の中間程度のバンドギャップを有する半導体層21を設ける。こうすることにより、価電子帯バンドの不連続が緩和され、同図中に矢印で示したように正孔の流入を促進して順方向バイアスに対する素子抵抗を低減することができる。

【0042】例えば、クラッド層15がInAlPにより構成され、コンタクト層22がGaAsにより構成される場合には、中間バンドギャップ層21は、Ga_{1-x}Al_xAsにおいてアルミニウムの組成比xが0.5～0.7の範囲にあることが望ましい。この組成範囲にお

いては、クラッド層15と中間バンドギャップ層22とコンタクト層22との接合面にそれぞれ形成される価電子帯のバンド不連続量を約0.3eV程度に抑制することが可能となり、正孔の流入を促進して素子抵抗を低減することができる。

【0043】一方、中間バンドギャップ層21に対するドーパントとしては、炭素を用いることが望ましい。炭素は、前述したように拡散しにくく、亜鉛のような特性の劣化を引き起こさないからである。さらに、そのドーパ量は、素子抵抗を増大させないために、 $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上とすることが望ましい。

【0044】次に、本発明者は、コンタクト層22に対する炭素のドーピングの効果についてさらに詳細に調べた。

【0045】コンタクト層のドーピング量を増やすと、ITO電極16とコンタクト層22の間にある空乏層(=バリア)の厚さdが薄くなる。この厚さがおよそ0.01μm近くになると、正孔はバリアを完全にトンネルしてしまうようになり、正孔の流入をささげるものがなくなる。従って、この部分の素子抵抗は顕著に低下する。

【0046】また、空乏層の厚さは、必ずしも0.01μm以下にならなくても、ある程度十分な素子抵抗の低減は可能である。これを実際に確かめる為に、本発明者は以下の試作と評価を行った。

【0047】図4(a)は、試作した評価用素子の構造を表す概略構成図である。また、図4(b)は、評価用素子の電流電圧特性を表すグラフ図である。

【0048】評価用素子は、同図(a)に表したように、p型GaAs基板25の上にコンタクト層22とITO電極16とを積層させた構造を有する。ここでは、コンタクト層21に対する炭素のドーピング量をそれぞれ、 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、 $7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、 $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ とした3種類の素子を試作した。また、p型GaAs基板25の層厚は約250μmとした。そして、この評価用素子に、同図(a)に示したようにITO電極16とコンタクト層21との接合について逆方向となるように電圧を印加した。この電圧極性は、発光素子においては順方向電圧に対応する。

【0049】その結果、同図(b)に示したように、炭素のドーピング量が増えるほど素子抵抗が低下し、特に、ドーピング量を約 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ よりも高くすると急激に素子抵抗が低下する傾向が見られた。すなわち、炭素のドーピング量を $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上とすることにより、素子抵抗を顕著に低下できることが分かった。

【0050】次に、本発明の発光素子の表面発光分布の改善と、それに伴う光出力の改善効果について従来例と比較しつつ説明する。図5は、発光素子の発光強度分布を表す説明図である。すなわち、同図(a)は発光素子の概略平面図であり、同図(b)はそのX-X線に沿った発光強度分布を表すグラフ図である。なお、同図にお

いては、本発明の発光素子10Aとともに図11に例示した従来例(2)の発光素子の特性も示した。ここで、従来例(2)の発光素子は、透明電極の代わりにp型GaAs電流拡散層109を発光表面に設けた構造を有する。

【0051】従来例(2)の素子においては、p型GaAs層109の抵抗率がITO透明電極ほどは低くないために、電流が発光面全体に均一に広がらないという問題がある。すなわち、図5(b)に示したように、従来例(2)の発光素子の場合には、発光強度分布が均一ではない。また、電極の周辺部分においては強く発光しているが、素子の外周部分で十分に電流が流れず、発光強度が急激に低下している。これに対して、本発明の発光素子10Aの分布は発光表面の全体に渡って均一であり、電極付近から素子の最外周部分に至るまで十分に電流が広がり、均一で強い発光が得られていることがわかる。

【0052】本発明によれば、こうした発光強度分布の改善に伴い、素子の光出力も向上した。図6は、発光素子の光出力特性を表すグラフ図である。すなわち、同図の横軸は電流、縦軸は光出力を表す。同図においては、本発明の発光素子10Aとともに図11に例示した従来例(2)の発光素子の特性も示した。本発明の発光素子10Aは、発光分布の改善に伴って光出力も改善され、従来例(2)の発光素子と比較して約1.5倍の光出力が得られていることが分かる。

【0053】次に、本発明の発光素子の寿命特性に対する改善効果について従来例と比較しつつ説明する。図7は、本発明の発光素子10Aと従来例の発光素子の寿命特性を表す特性図である。ここで、「従来例(3)」は、図12に例示したようにp型クラッド105の上に多量($\sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$)の亜鉛をドーピングしたp型GaAs低抵抗コンタクト層110を積層した構造を有する。従来例(3)の素子は、図示したように初期状態の光出力が低く、なおかつ亜鉛の拡散によって急速に劣化してしまう。

【0054】一方、従来例(2)の素子においては、透明電極の代わりにp型GaAs電流拡散層109が設けられている。この従来例(2)の素子は、図示したように比較的良好な寿命特性が得られるが、前述したように厚いp型GaAs電流拡散層109を形成するために製造コストが高いという問題を有する。

【0055】これらの従来例に対して、本発明の発光素子10Aは、光出力の初期特性も優れ、寿命も極めて安定している。すなわち、本発明においては、p型GaAs層22に亜鉛の代わりに炭素を多量にドーピングすることにより素子抵抗を低減して発光出力を改善することができる。さらに、炭素は亜鉛と異なり、非常に拡散し難いので、多量にドーピングしても拡散して素子特性を劣化させる心配が無い。その結果として、図7に示したような良

好な寿命特性が得られる。

【0056】次に、本発明の第2の実施の形態について説明する。図8は、本発明の第2の実施の形態に係る半導体発光素子の構造を表す概略断面図である。同図に示した発光素子10Bも、n型GaAs基板11の上に、複数の半導体層を積層させた構成を有する。すなわち、n型GaAsバッファ層12、n型InGaAlPクラッド層13、InGaAlP多重量子井戸型活性層26、p型InGaAlPクラッド層15、p型GaAs中間バンドギャップ層21、p型GaAs:Cコンタクト層22、ITO(Indium Tin Oxide)透明電極16が順次積層され、さらに、p側電極17、およびn側電極18が形成されている。

【0057】本実施形態においては、さらに、p型コンタクト層22とITO電極16との間に、電流ブロック層23が設けられている。電流ブロック層23は、表面に形成されたp側電極17の直下の部分のみに選択的に設けられている。p側電極17の下で発光が生じても、p側電極17に遮られて外部に光を取り出すことができない。これに対して、本実施形態のように電流ブロック層23を設けることにより、p側電極17の下に電流を注入することを阻止して無駄な発光を抑制し、光の取り出し効率を改善することができる。

【0058】また、本実施形態においては、n型クラッド層13の下に光反射層24が設けられている。この光反射層24により活性層14から図中の下向きに放出された発光を反射させて図中の上向きに放出させ、外部に取り出すことができる。ここで、光反射鏡24は、例えば、屈折率が異なる2種類の半導体層を交互に積層させたいわゆるブラッグ多層反射鏡を用いることができる。具体的には、例えば、InAlP/InGaAlPやInAlP/GaAsなどの材料系を用いて10~20周期の積層構造を形成することが望ましい。

【0059】また、本実施形態においては、n型クラッド層の上の発光層をInGaAlP多重量子井戸型活性層26とすることで、通常のInGaAlP活性層14を用いた場合よりも発光出力を改善することができる。

【0060】また、本実施形態においても、炭素をドーピングしたp型コンタクト層22と中間バンドギャップ層21とが設けられている。従って、前述した第1実施形態の発光素子10Aに関して説明した、素子抵抗の顕著な低減、発光強度の均一化、光出力の増大、素子寿命の改善などの種々の効果を同様に得ることができる。

【0061】次に、本発明の第3の実施の形態について説明する。図9は、本発明の第3の実施の形態に係る半導体発光素子の構造を表す概略断面図である。同図に示した発光素子10Cも、n型GaAs基板11の上に、複数の半導体層を積層させた構成を有する。すなわち、n型GaAsバッファ層12、n型InGaAlPクラッド層13、InGaAlP活性層14、p型InGa

A1Pクラッド層15、p型GaAlAs中間バンドギャップ層21、p型GaAs:Cコンタクト層22、ITO (Indium Tin Oxide) 透明電極16が順次積層され、さらに、p側電極17、およびn側電極18が形成されている。

【0062】本実施形態においては、p側電極17の直下部分のみ、p型コンタクト層22とp型中間バンドギャップ層21を選択的に取り去ってある。これにより、表面電極直下部分には電流が流れにくくなる。すなわち、この除去部分が、擬似的に電流ブロック層となり、

前述した第2実施形態の素子と同様に光の取り出し効率を改善することができる。

【0063】また、本実施形態においても、電極17の周囲部分には、炭素をドーピングしたp型コンタクト層22と中間バンドギャップ層21とが設けられている。従って、前述した第1実施形態の発光素子10Aに関して説明した、素子抵抗の顕著な低減、発光強度の均一化、光出力の増大、素子寿命の改善などの種々の効果を同様に得ることができる。

【0064】以上、具体例を参照しつつ本発明の実施の形態について説明した。しかし、本発明は、これらの具体例に限定されるものではない。例えば、前述した半導体発光素子の構造は一例に過ぎず、その他にも、本発明は発光層（活性層）にInGaAlP系半導体を用いた種々の構造の半導体発光素子に同様に適用して同様の効果を得ることができる。また、半導体発光素子を構成する各層の材料や組成も、公知のものから適宜選択して同様に用いることができる。

【0065】例えば、活性層は、いわゆる多重量子井戸（MQW）型の構造としても良く、また、活性層とクラッド層との間に両者の中間的な屈折率を有する光ガイド層を設けたり、クラッド層の組成を徐々に変化させるいわゆるグレーデッド型の構造としても良い。

【0066】

【発明の効果】本発明は、以上に説明した形態で実施され、以下に説明する効果を奏する。

【0067】まず、本発明によれば、p型クラッド層と透明電極との間に、炭素をドーピングした低抵抗のp型コンタクト層を設けることにより、n型半導体である透明電極との間で生ずる接触抵抗を効果的に低減して、半導体発光素子に順方向電圧を印加した場合の素子抵抗を低下させることができる。

【0068】さらに、本発明によれば、p型クラッド層とp型コンタクト層との間に両者の中間的なバンドギャップを有するp型中間バンドギャップ層を設けることにより、価電子帯のバンド不連続を緩和し、正孔の流入を促進して素子抵抗をさらに低減することができる。

【0069】また、本発明によれば、極めて寿命特性が優れた半導体発光素子を得ることができる。すなわち、本発明においては、素子抵抗を低減するためドーパント

として炭素を採用する。炭素は、半導体中において拡散しにくいために、活性層に拡散して素子特性を劣化させるという問題を解消することができる。すなわち、従来の亜鉛を用いた発光素子と比較して、極めて優れた寿命特性が得られる。

【0070】さらに、本発明においては、発光強度分布が均一な半導体発光素子を得ることができる。すなわち、従来のp型GaAlAs電流拡散層を用いた発光素子においては、GaAlAsの抵抗率が透明電極ほどには低くないので、電流が発光面全体に均一に広がらないという問題があった。これに対して、本発明によれば、電極付近から発光素子の最外周部分に至るまで十分に電流が拡散し、発光素子の発光表面全体に渡って均一な発光強度分布を得ることができる。

【0071】同時に本発明によれば、発光素子の光出力も向上する。すなわち、従来の発光素子と比較して約1.5倍の光出力を得ることができる。

【0072】さらに、本発明によれば、素子抵抗を顕著に低減した結果として、発光素子の温度特性も改善される。すなわち、本発明によれば、素子抵抗に起因する発熱量が低下するので、従来よりも高温で安定して動作させることが可能となる。その結果として、従来は、困難であった過酷な種々の条件下において半導体発光素子を使用することが可能となり、半導体発光素子の応用範囲を大幅に広げることができるようになる。

【0073】以上説明したように、本発明によれば、素子抵抗が低減され、発光特性や寿命特性が優れたInGaAlP系発光素子を提供することができるようになり、産業上のメリットは多大である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係る半導体発光素子の構造を表す概略断面図である。

【図2】本発明の半導体発光素子10Aの電流・電圧特性を表す特性図である。

【図3】本発明の発光素子10Aのバンド構造を表す概略図である。

【図4】図4(a)は、試作した評価用素子の構造を表す概略構成図である。また、図4(b)は、評価用素子の電流電圧特性を表すグラフ図である。

【図5】発光素子の発光強度分布を表す説明図である。すなわち、同図(a)は発光素子の概略平面図であり、同図(b)はそのX-X線に沿った発光強度分布を表すグラフ図である。

【図6】発光素子の光出力特性を表すグラフ図である。すなわち、同図の横軸は電流、縦軸は光出力を表す。

【図7】本発明の発光素子10Aと従来例の発光素子の寿命特性を表す特性図である。

【図8】本発明の第2の実施の形態に係る半導体発光素子の構造を表す概略断面図である。

【図9】本発明の第3の実施の形態に係る半導体発光素

13

子の構造を表す概略断面図である。

【図10】第1の従来例のInGaAlP系の半導体発光素子を表す概略断面図である。

【図11】第2の従来例のInGaAlP系の半導体発光素子を表す概略断面図である。

【図12】第3の従来例のInGaAlP系の半導体発光素子を表す概略断面図である。

【符号の説明】

10A～C 半導体発光素子

11、101 n型GaAs基板(250 μ m)

12、102 n型GaAsバッファ層(0.5 μ m)

13、103 n型InGaAlPクラッド層(0.6 μ m)

14、104 InGaAlP活性層(0.3 μ m) *

* 15、105 p型InGaAlPクラッド層(1.0 μ m)

16、106 ITO透明電極

17、107 p側電極

18、108 n側電極

21 p型GaAlAs中間バンドギャップ層

22 p型GaAs:Cコンタクト層

23 n型InAlP電流ブロック層

24 光反射層

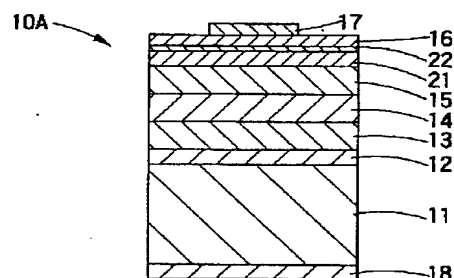
10 25 p型GaAs基板(250 μ m)

26 InGaAlP多重量子井戸型活性層

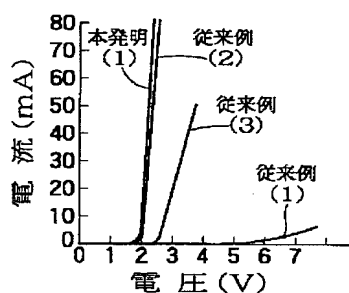
109 p型GaAlAs電流拡散層

110 p型GaAs:Znコンタクト層

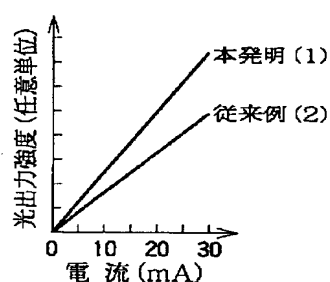
【図1】



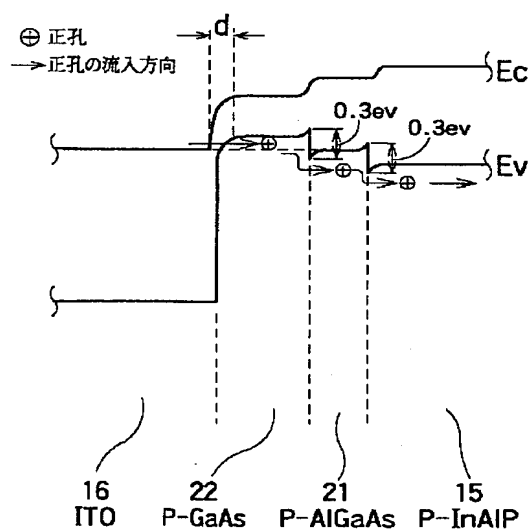
【図2】



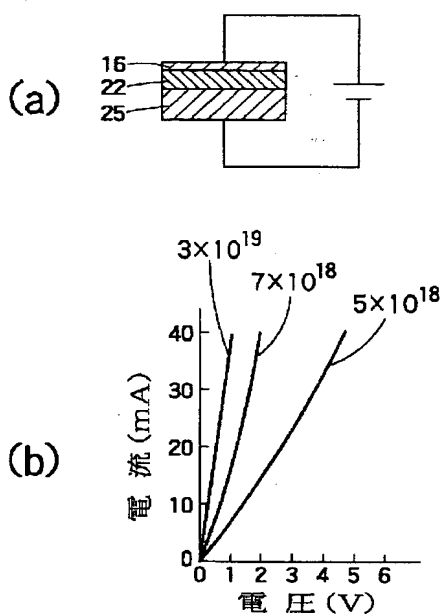
【図6】



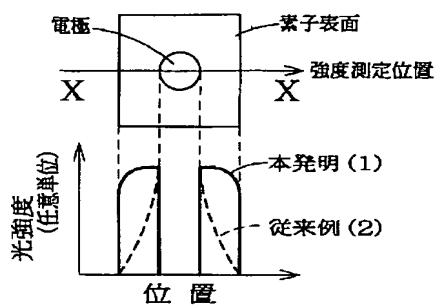
【図3】



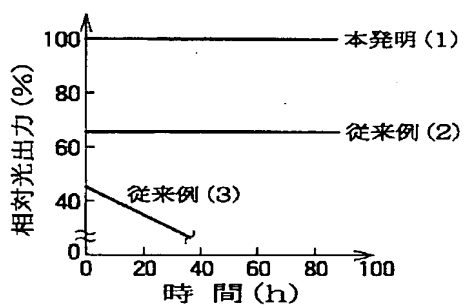
【図4】



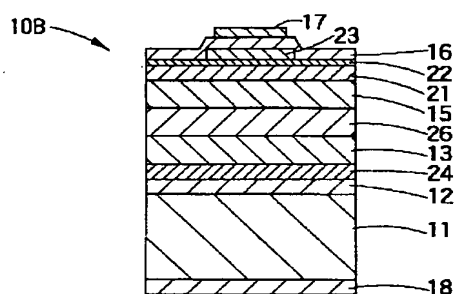
【図5】



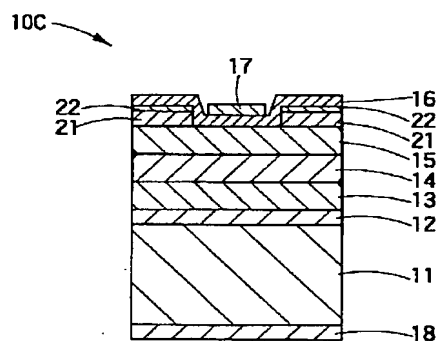
【図7】



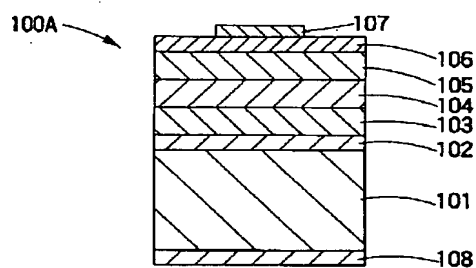
【図8】



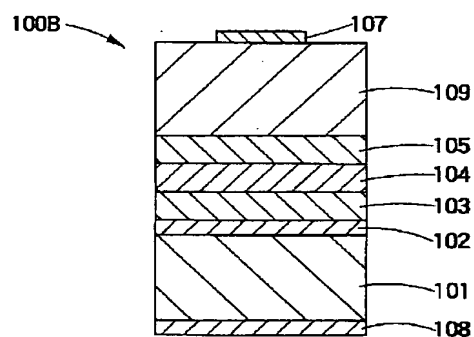
【図9】



【図10】



【図11】



【図12】

